

## ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ ЗАЛИВА АНИВА В РЕЖИМЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

О. В. Кусайло, В. Н. Частиков

Сахалинский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск)

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время, наряду с использованием зондирующих океанографических приборов, все более широкое применение получили буксируемые комплексы на основе принципа непрерывной регистрации характеристик проходящего через них потока морской воды. Такие комплексы вначале за рубежом, а затем и в России получили название ондуляторы (Левашов, 2003). При буксировке на полном ходу судна эти приборы дают возможность получить практически непрерывные разрезы широкого спектра океанографических параметров (в зависимости от конфигурации регистрирующих приборов) в верхней толще вод от 0 до 120 м. Траектория движения ондулятора под водой представляет собой синусоиду с различным, задаваемым для конкретных измерений, периодом колебаний и диапазоном глубин (пример траектории при измерениях по стандартному разрезу м. Анива – м. Анастасии приведен на рисунке 1).

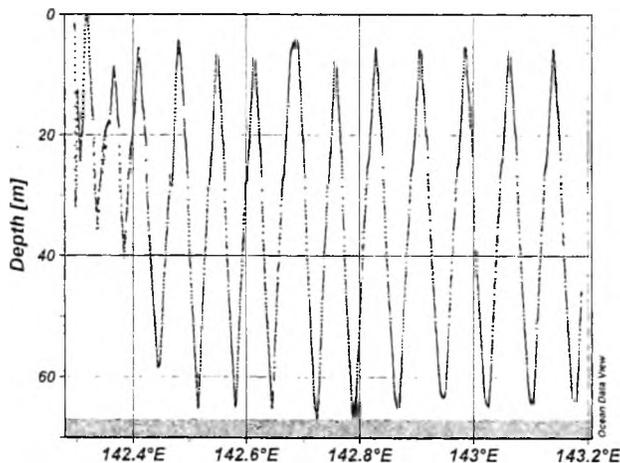


Рис. 1. Траектория ондулятора при проведении океанологических исследований на разрезе м. Анива – м. Анастасии 1 мая 2004 г.

Получение непрерывных разрезов без остановки судна для выполнения океанологических измерений позволяет повысить эффективность научных экспедиций, одновременно сократив их продолжительность и стоимость. Совместное использование ондуляторов и традиционных океанографических зондов дает возможность повысить качество и дискретность получаемых данных.

В конце 2001 г. СахНИРО был приобретен ондулятор «Nv-Shuttle» фирмы Chelsea Instruments Ltd. (Великобритания), оснащенный океанографическим зондом CTD-F «MiniPack» этой же фирмы. Прибор был опробован в марте 2003 г. на научно-промысловом судне СахНИРО «Дмитрий Песков». Это был первый опыт применения подобной аппаратуры на Дальнем Востоке России. Ондулятор активно используется и в настоящее время.

## ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Ондулятор представляет собой обтекаемый носитель (рис. 2), состоящий из прочного корпуса, его боковые поверхности в кормовой части переходят в два киля, между которыми закреплено управляемое крыло с дополнительным килем. Кормовая часть оснащена импеллером, вращающим внутренний генератор для питания привода крыла. В зависимости от скорости буксировки применяются 3- и 4-лопастные импеллеры. Кабель-трос крепится на буксирующем устройстве (бридель), которое закреплено в передней верхней части корпуса на шарнирах. В корпусе расположены три пары отверстий для крепления бриделя, что позволяет изменять центр тяжести ондулятора для лучшей устойчивости либо управляемости ондулятора под водой, в зависимости от выбранных точек крепления. В корпусе ондулятора проделаны отверстия для свободного протока воды. Внутри корпуса закреплены собственно зонд, модемный блок и устройство управления крылом (альтернатор). Устройство океанографического зонда CTD-F «MiniPack» позволяет произвести подключение до 16 различных внешних датчиков.



Рис. 2. Ондулятор «Nv-Shuttle» в момент спуска в море с борта НПС «Дмитрий Песков»

Связь ондулятора с регистрирующим компьютером осуществляется посредством модемного соединения (представляющего собой бортовой блок, к которому подключаются морская кабель и компьютер через последовательный порт СОМ). По этому кабелю передается питание, команды и данные. Ондулятор буксируется на кабель-тросе при помощи бортовой океанографической лебедки, установленной на НПС «Дмитрий Песков» и которая используется также для работы с зондом ICTD.

Зонд CTD-F «MiniPack» сконфигурирован для прямой регистрации данных на компьютер и внутреннюю флэш-память типа Smart Media Card (в опци-

ях возможны автономное использование ондулятора и регистрация данных только на внутреннюю флэш-память). В процессе эксплуатации было решено отказаться от дублирования записи на флэш-память. Во-первых, максимальный объем памяти составляет всего 16 Мбайт и рассчитан на 150 миль непрерывного разреза с дискретностью 1 измерение в секунду, поэтому при заполнении памяти возникает необходимость разбора зонда и форматирования карты вручную. Во-вторых, создается впечатление, что ресурсы внутреннего процессора зонда недостаточны для регистрации данных с уже упомянутой дискретностью на флэш-память, и зонд становится неустойчивым, работает со сбоями, а в некоторых случаях ондулятор становится неуправляемым. В документации, предоставленной фирмой-изготовителем, данная проблема никак не обозначена, более того, не указано назначение переключки, убрав которую, можно совсем отключить запись во внутреннюю память. Во время экспедиции, после очередного демонтажа зонда и форматирования карты, переключка была удалена, в результате зонд стал работать практически без сбоев. В настоящий момент данные регистрируются только на бортовой компьютер, и время работы зонда в воде ничем (кроме дисковой памяти компьютера) не ограничено.

В первоначальном варианте фирма-изготовитель поставила программное обеспечение, состоящее из двух отдельных программ: одна (Shuttle Flight Control) служит для управления режимом движения ондулятора под водой и работает в операционной среде DOS; другая (Minipack Graphical User Interface Ver. 2.01) – для регистрации данных в виде текстового файла, установки калибровочных коэффициентов и управления режимами работы зонда CTD-f «MiniPack» и работает в операционной среде Windows'98, Windows XP. Работа программ под разными операционными системами и единоличный захват каждой последовательного порта компьютера создавали ситуацию, когда для оперативного изменения пределов глубин погружения ондулятора приходилось прерывать регистрацию данных на компьютер. Привязки точек измерения к координатам не было, что также создавало некоторые трудности, в частности необходимо было точно синхронизировать системные часы зонда, компьютера и бортовой системы GPS, а также каким-то образом записать файл с координатами точек измерения и в дальнейшем совместить его с файлом данных по критерию «общее время».

На момент первого пробного пуска фирма-изготовитель выпустила новую версию программы (Minipack Graphical User Interface Ver. 3.01.08), в которой используется еще один последовательный порт для подключения системы GPS к компьютеру и осуществляется синхронизация файлов данных и координат точек измерений по времени. Интерфейс программы позволяет также управлять режимом движения ондулятора под водой. Результатом работы программы являются два текстовых файла, один из которых содержит собственно данные, а второй – координаты точек измерения. К настоящему моменту мы также располагаем программой для сращивания файлов данных и координат по критерию общего времени, с возможностью формирования выборок по стандартным горизонтам. Для последующей обработки и представления данных используются такие известные программы, как Surfer и Ocean Data View.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первый пробный запуск ондулятора был произведен в марте 2003 г. в районе о. Симушир (охотоморская сторона) и о. Итуруп (тихоокеанская сторона). Задачами экспедиции были отработка методики работы с ондулято-

ром, подбор параметров буксировки и определение его характеристик. В прилагаемом к прибору описании не указывается методика работы. Поэтому за основу был взят описанный заведующим лабораторией океанологических измерительных систем ВНИРО Д. Е. Левашовым (1999) опыт использования ондулятора другой модели. Буксировка производилась на кабель-тросе с кормовой части судна через систему блоков. В последующих экспедициях от такого способа буксировки было решено отказаться, так как были выявлены некоторые недостатки: во-первых, большое количество блоков и большие изгибы троса на них создавали ощутимую нагрузку на лебедку и кабель-трос, что приводило к преждевременному износу некоторых деталей лебедки и самого троса; во-вторых, спускоподъемные операции требовали больших трудозатрат и времени; в-третьих, использование ондулятора с кормы не позволяет оперативно изменять тип океанографических приборов (например, подключить другой зонд). Трос крепился к бриделю скобой, что не совсем корректно, так как стандартное крепление зонда ICTD, для которого и предназначен кабель-трос, создает ощутимое сопротивление в воде. Но наш кабель-трос тоньше (6,3 мм), чем рекомендованный фирмой-изготовителем (8,2 мм), и на тот момент было решено оставить все как есть.

При подборе параметров буксировки изменялись длина троса, скорость судна, место крепления бриделя к корпусу ондулятора. Также программно изменялись угол атаки крыла и пределы погружения. Регистрация данных осуществлялась один раз в секунду.

В результате исследований были определены оптимальные параметры работы ондулятора:

- длина троса – 350 м, при этой длине достигается максимальная амплитуда траектории ондулятора в воде (от 5 до 80 м). При увеличении длины можно добиться большего заглубления ондулятора, но верхний предел погружения соответственно уменьшается. Причем отношение приращений длины троса к величине заглубления составляет 50 м троса на 10 м глубины. При работе на мелководных участках (к примеру, в заливе Анива) достаточно стравить около 200 м троса;

- бридель крепится в дальнем от носовой части крепежном отверстии. При этом достигается максимальная амплитуда погружения, но иногда возникает небольшой (2–3 м) «срыв» ондулятора с траектории примерно в середине погружения и подъема. При креплении бриделя на другие крепежные отверстия (ближе к носовой части) улучшается устойчивость прибора на траектории, но уменьшается амплитуда погружения;

- скорость буксировки – 8–10 узлов, что соответствует крейсерской. При меньшей скорости ондулятор управляется хуже, а при скорости порядка 5 узлов не управляется совсем;

- оптимальная скорость погружения (устанавливаемая программно) составляет от 5 до 15 м/мин. При увеличении этого параметра ондулятор не успевает отследить команду погружение/всплытие, и опять же уменьшается амплитуда погружения. Уменьшение параметра ведет к уменьшению плотности наблюдений в вертикальной плоскости, что особенно сказывается на коротких разрезах.

В июне 2003 г., сразу после проведении океанографических исследований на разрезе м. Анива – м. Докучаева зондом ICTD, ондулятором были произведены измерения в верхней части разреза. Получен непрерывный разрез длиной около 250 миль (рис. 3).

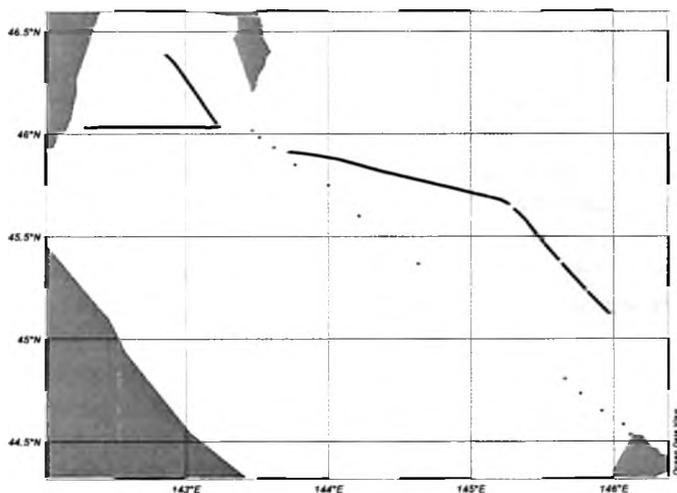


Рис. 3. Маршрут буксировки ондулятора в юго-западной части Охотского моря – между островами Кунашир и Сахалин, а также в заливе Анива. Точками показаны станции стандартного разреза м. Анива – м. Докучаева

На рисунке 4 (а–д) представлены распределения температуры и солёности морской воды на стандартном океанологическом разрезе, полученные зондом ICTD, а также рассчитанные при помощи комплекса программ Ocean Data View значения плотности и скорости течения в геострофическом приближении (приведена проекция на параллель, меридиональная компонента имеет достаточно близкое распределение).

Примечательно, что влияние течения Соя, несущего к южным Курильским островам относительно теплые и солёные воды из Японского моря, проявлялось в период проведения измерений незначительно. Однако градиенты температуры (солёности в меньшей степени) вблизи о. Кунашир весьма велики, и скорость течения, рассчитанная в геострофическом приближении, также имеет значительную величину (более 50 см/сек.) в северо-восточном направлении.

По мере удаления от о. Кунашир, вплоть до берегов о. Сахалин, изотермы в поверхностном слое изменяются плавно, на поверхности моря температура достигает 6°C, нулевая изотерма залегает приблизительно на глубине 40 м.

Вариации солёности также достаточно медленные, наименьшие значения наблюдаются в центральной части разреза и возрастают по направлению его краев, причем наибольшие значения отмечены вблизи о. Кунашир.

Вариации плотности носят более сложный характер. Так, изопикна 26,5 усл. ед. имеет почти периодическую изменчивость с двумя максимальными значениями – у берега Сахалина и в районе точки с долготой 145,5°, и двумя минимумами в районе 144,5 и 146° в. д. Это указывает на наличие нескольких вихревых структур с различным направлением вращения, но относительно слабо выраженных, так как градиенты поля плотности невелики. Вероятно, что в значительной мере этот плавный характер вариаций океанологических элементов является результатом большого расстояния между станциями в центральной части разреза и неизбежной в таких случаях интерполяции данных наблюдений.

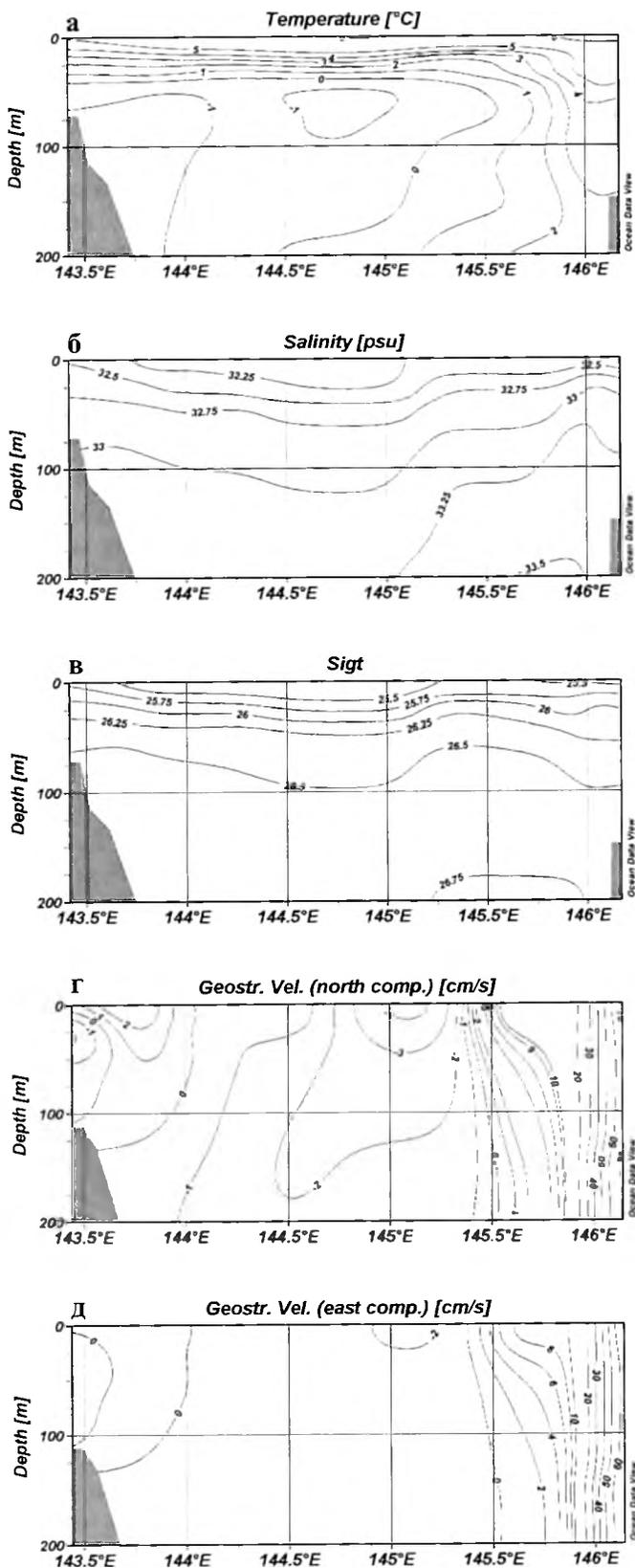


Рис. 4. Распределения температуры (а) и солёности (б) морской воды, а также рассчитанные при помощи пакета Ocean Data View значения плотности (в) и скорости течения (северная (г) и восточная компоненты (д) в геострофическом приближении на разрезе м. Анива – м. Докучаева в июне 2003 г. по данным ICTD

Гораздо более сложная картина изменчивости температуры и солености в верхнем слое была выявлена при измерениях ондулятором благодаря непрерывности измерений (рис. 5а–в). Так, в районе 145,5° в. д. наблюдается подъем изотерм (и более отчетливо выраженный изохалин), что указывает на наличие здесь циклонического вихря, обуславливающего подъем более холодных и соленых вод на поверхность. К западу от него выделяются две области с опусканием более теплых и менее соленых вод, связанных с антициклоническими рингами с центрами приблизительно у 144 и 145° в. д., которые менее выражены по сравнению с циклоническим вихрем. Подобную детальность невозможно определить по стандартным измерениям из-за большого расстояния между станциями. Отметим также, что в центрах выделенных структур наблюдаются повышенные концентрации хлорофилла *a*. Наличие в данном районе слабо выраженных вихрей сравнительно небольших размеров отмечалось и другими авторами (Булатов и др., 1999).

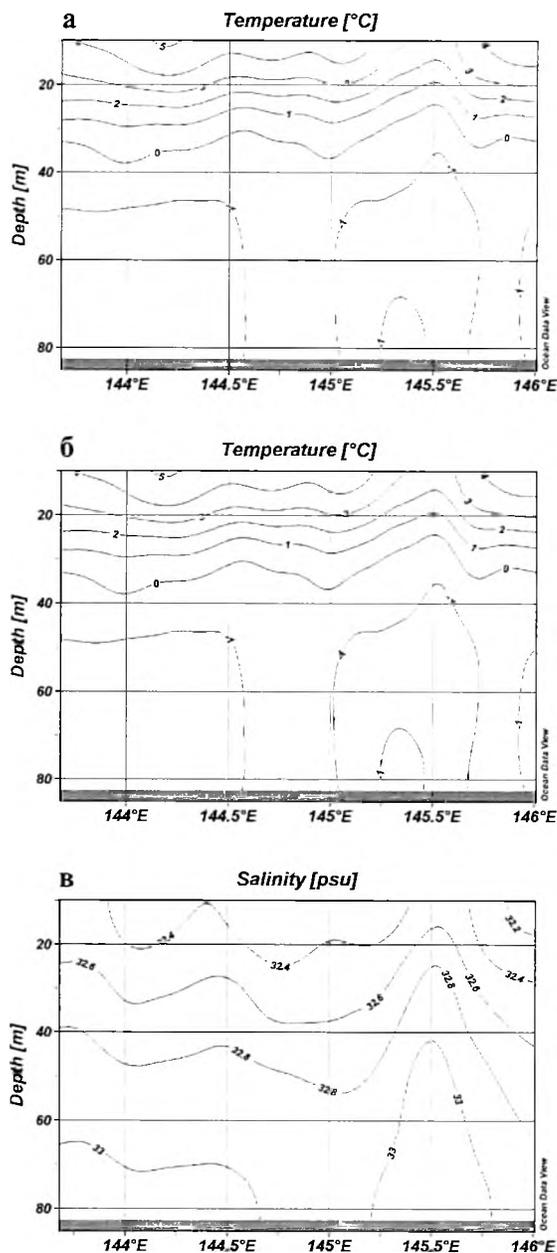


Рис. 5. Вертикальное распределение температуры (а), солености (б) и концентрации хлорофилла *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) (в) на разрезе м. Анива – м. Докучаева, полученное с помощью ондулятора *Nv-Shuttle* в июне 2003 г.

Первого мая 2004 г. исследования были проведены непосредственно на акватории залива Анива, измерения производились по зональному разрезу м. Анива – м. Анастасии, а далее под углом к параллели, до места постановки ПАБС «*Marina-4*» в центральной части залива (см. рис. 3). Буксировка осуществлялась с левого борта судна со стрелы крана, предназначенного для зонда ИСТД. Подобный способ существенно облегчил спускоподъемные операции с ондулятором и уменьшил нагрузку на кабель-трос и лебедку (см. выше). Недостатком такого способа буксировки является невозможность осуществить нормальный поворот судна через правый борт из-за опасности попадания кабель-троса под днище судна. Поворот производился либо через левый борт

(практически полный разворот), либо очень плавно ( $1-2^\circ$ ) – через правый. Кабель-трос к бриделю крепился в стандартном положении, коуш и петля для крепления зонда ICTD помещались внутрь корпуса ондулятора. Для удерживания более тонкого троса в бриделе проложена медная прокладка. Дальнейшая работа показала надежность такого крепления.

Выполненные разрезы представлены на рисунке 5 (а–в). Для первичной обработки данных (синхронизации океанографических данных с координатами точек измерений) использовалась специально разработанная программа «Шаттл» (автор А. Д. Жечев), которая выдает выходной файл данных в формате Ocean Data View.

В западной части разреза, выполненного вдоль  $46^\circ$  с. ш., значения температуры воды (рис. 6а) выше, чем в центральной и восточной части. Особенно это характерно для глубин более 40 м – в нижнем слое в центре разреза наблюдается ядро холодных вод с температурой менее  $-1^\circ\text{C}$ , в то время как вблизи м. Анастасии значения температуры положительны. Еще большие пространственные различия обнаруживаются в распределении солености (рис. 6б). Значительные градиенты наблюдаются в районе долготы  $142,5^\circ$ , более соленые воды локализованы у западного берега залива. Наличие более теплых и соленых вод в западной части разреза указывает на заток модифицированных япономорских вод, который обычно наблюдается в данном районе в весенний период. На эту же часть разреза, преимущественно на область максимальных градиентов солености, приходится также максимальные концентрации хлорофилла *a*, достигающие 40 и более мкг/л (рис. 6в).

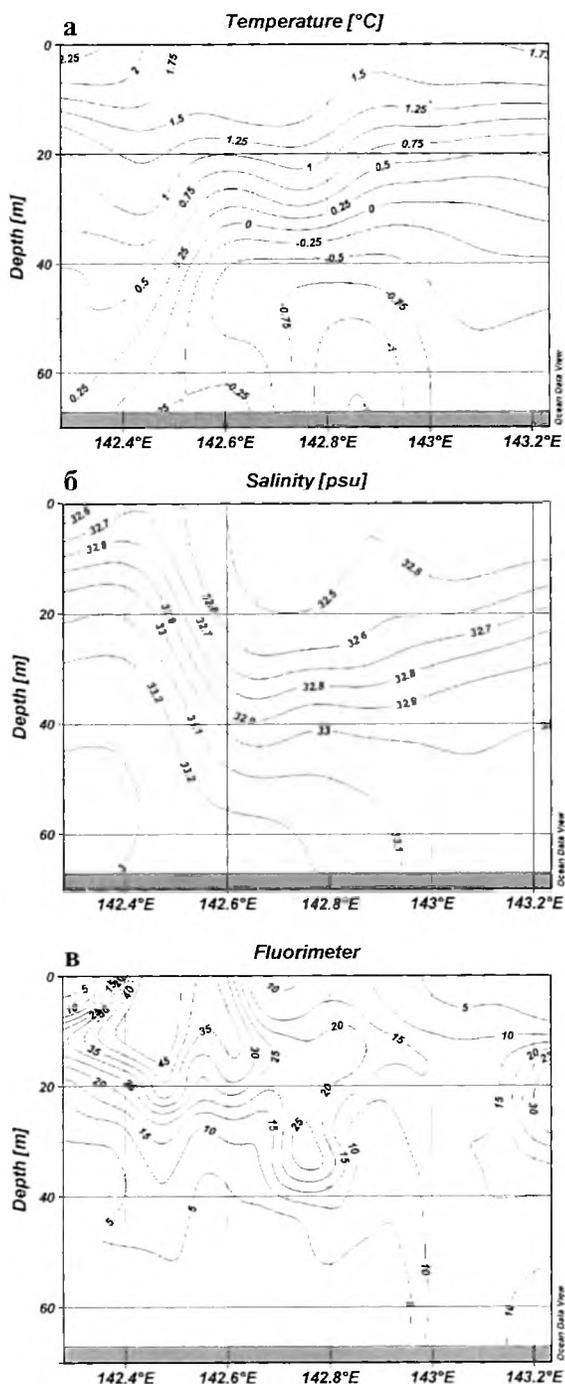


Рис. 6. Вертикальное распределение температуры (а), солености (б) и концентрации хлорофилла *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) (в) на разрезе м. Анива – м. Анастасии, полученное с помощью ондулятора *Nv-Shuttle* в мае 2004 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ определены оптимальные режимы эксплуатации ондулятора Nv-Shuttle, позволяющие использовать данную аппаратуру с максимальной эффективностью.

Показано, что помимо экономии судового времени при проведении океанологических исследований в режиме сопровождения пелагических траловых или ихтиопланктонных съемок ондулятор обеспечивает, благодаря высокому разрешению, выделение вихревых структур сравнительно мелкого масштаба, для которых характерна повышенная концентрация фитопланктона. Это обстоятельство имеет важное значение как при исследовании пространственно-временной изменчивости океанологических элементов, так и при оценке их влияния на развитие различных типов гидробионтов в деятельном слое моря.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вихревая структура вод южной части Охотского моря и ее сезонная изменчивость (результаты спутникового мониторинга) / Н. В. Булатов, Л. А. Куренная, Л. С. Муктепавел и др. // Океанология. – 1999. – Т. 39, № 1. – С. 36–45.
2. Левашов, Д. «Аквашатл» – следующий этап инструментального обеспечения отраслевых НИС / Д. Левашов // Рыб. хоз-во. – 1999. – № 6. – С. 42–44.
3. Левашов, Д. Е. Техника экспедиционных исследований / Д. Е. Левашов. – М. : ВНИРО, 2003. – 399 с.
4. Пищальник, В. М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин / В. М. Пищальник, А. О. Бобков. – Ю-Сах. : Изд-во СахГУ, 2000. – Ч. 1. – 174 с.

Кусайло, О. В. Океанографические исследования в районе залива Анива в режиме непрерывного зондирования / **О. В. Кусайло, В. Н. Частиков** // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2005. – Т. 7. – С. 286–294.

Дано описание устройства, технических особенностей и оптимальных режимов эксплуатации буксируемого комплекса Nv-Shuttle, основанного на непрерывной регистрации океанологических параметров в поверхностном слое моря. Показано, что, помимо экономии судового времени при проведении океанологических исследований в режиме сопровождения пелагических траловых или ихтиопланктонных съемок, ондулятор обеспечивает, благодаря высокому пространственному разрешению, выделение вихревых структур сравнительно мелкого масштаба.

Ил. – 6, библиогр. – 4.

Kusailo, O. V. Oceanographic investigations in Aniva Bay in continuous sounding operating work / **O. V. Kusailo, V. N. Chastikov** // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2005. – Vol. 7. – P. 286–294.

Device, technical specifications and optimal regimes for exploitation are described for the towed complex Nv-Shuttle based on the continuous registration of oceanological parameters in a sea surface layer. It is shown that besides reducing the ship time when conducting oceanological investigations along with pelagic trawl or ichthyoplanktonic surveys, the undulator provides for distinguishing the comparatively small-scale eddy structures due to the high spatial resolution.

Fig. – 6, ref. – 4.